

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-015865

(43)Date of publication of application : 19.01.2001

(51)Int.Cl.

H01S 5/50

(21)Application number : 11-186987

(71)Applicant : TOSHIBA CORP

(22)Date of filing : 30.06.1999

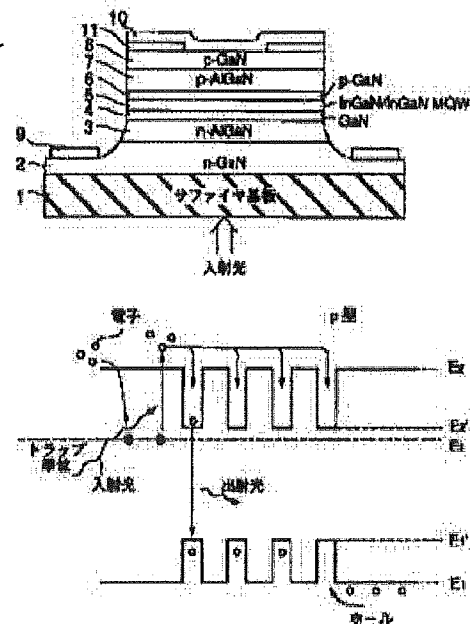
(72)Inventor : JOHN LENEY

## (54) SEMICONDUCTOR WAVELENGTH CONVERSION DEVICE AND WAVELENGTH CONVERSION METHOD

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a semiconductor wavelength conversion device and a wavelength conversion method which have high wavelength conversion efficiency.

SOLUTION: A semiconductor wavelength conversion device is equipped with a sapphire substrate 1, an MQW active layer 5 which is formed on the sapphire substrate 1 and has a prescribed band gap  $E_2'-E_1'$ , and an optical guide layer 4 having a trap level  $E_{2t}$  different in depth from the band gap of the MQW active layer 5, where the optical guide layer 4 is irradiated with light, electrons trapped in the trap level  $E_{2t}$  are excited by light to be discharged into the active layer 5, and light of wavelengths correspondent to the band gap  $E_2'-E_1'$  is emitted from the active layer 5.



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2001-15865  
(P2001-15865A)

(43) 公開日 平成13年1月19日 (2001.1.19)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>  
H 0 1 S 5/50

識別記号

F I  
H 0 1 S 3/18

データベース\* (参考)  
6 9 4 5 F 0 7 3

審査請求 未請求 請求項の数3 O L (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願平11-186987

(22) 出願日 平成11年6月30日 (1999.6.30)

(71) 出願人 000003078

株式会社東芝

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

(72) 発明者 ジョン・レニー

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝研究開発センター内

(74) 代理人 100058479

弁理士 鈴江 武彦 (外6名)

Fターム(参考) 5F073 AA05 AA13 AA45 AA55 AA65

AA74 CA07 CB01 CB07 CB10

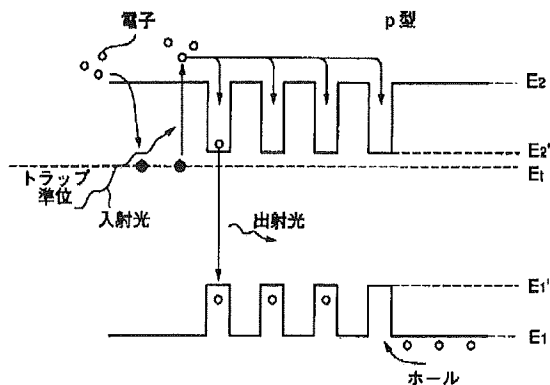
CB19 CB22 EA29

(54) 【発明の名称】 半導体波長変換素子及び波長変換方法

(57) 【要約】

【課題】 波長変換率の高い半導体波長変換素子及び波長変換方法を提供する。

【解決手段】 サファイヤ基板1と、サファイヤ基板1上に形成され、所定のバンドギャップ $E_2' - E_1'$ を有するMQW活性層5と、このMQW活性層5の下層に形成され、MQW活性層5のバンドギャップとは異なる深さのトラップ準位 $E_{2t}$ を有する光ガイド層4を有し、光ガイド層4に光を照射し、トラップ準位 $E_{2t}$ にトラップされた電子を該光により励起させて活性層5に放出し、バンドギャップ $E_2' - E_1'$ に相当する波長の光を活性層5から放出する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 所定のバンドギャップを有する活性層と、該活性層の上層側又は下層側に形成され、前記バンドギャップとは異なる深さのトラップ準位を有する光吸収層とを具備してなり、前記光吸収層に光を照射し、前記トラップ準位にトラップされたキャリアを該光により励起させて前記活性層に放出し、前記バンドギャップに相当する波長の光を該活性層から放出することを特徴とする半導体波長変換素子。

【請求項2】 前記活性層は、多重量子井戸（MQW）構造であることを特徴とする請求項1に記載の半導体波長変換素子。

【請求項3】 所定のバンドギャップを有する活性層の上層側又は下層側に、該活性層のバンドギャップとは異なる深さのトラップ準位を有する光吸収層を形成した半導体レーザを用いた波長変換方法であって、前記半導体レーザに電圧を印加し、キャリアを注入した状態で外部から前記トラップ準位にトラップされたキャリアを励起させ、該励起されたキャリアを前記活性層に放出し、該活性層で前記バンドギャップに相当する波長の光を放出することを特徴とする波長変換方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、半導体を用い、入射光に対して出射される光の波長を変換する半導体波長変換素子及び波長変換方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】 ここ数年、光増幅におけるレーザデバイスの構造を基礎とした半導体の利用が提案され、その構造の実現に成功している。しかしながら、電流注入により活性領域中に残存するキャリアが誘導放出し、もとのレーザ光が電氣的に注入されたキャリアにより与えられた増幅因子により増幅されるように、活性領域内のキャリアの生成を引き起こす入射光がある中で、これらすべてのレーザデバイスは直接誘導放出される。

【0003】 レーザデバイス中の吸収領域と放射領域の分離は、よく知られていないため、充分な利得と、吸収領域から活性領域へのキャリアの2次動作を得るのは困難であり、このキャリアの2次動作は、大きな時間遅れを引き起こす電荷の動作にともなう。このように、レーザデバイスの時間応答を得ることは大きな問題である。これら吸収領域と放射領域を分離するためには、デバイスのスイッチングがまるで両領域同士が非常に近接しているかのように行えることが必要であり、試料が発光するときに容易かつ高速にこれら2つの領域間に十分に大きな障壁を生じさせるのは困難である。

【0004】 図8及び図9は典型的な半導体レーザ増幅器の例を示す図であり、図8はエッジ放出型、図9は面放出型のレーザ増幅器である。図8におけるエッジ放出

型の場合、n型InP基板81上に、n型InP層82、InGaAsP（MQW）活性層83、InGaAsP層84、p型InP層85及びp<sup>+</sup>型InGaAsP層86が積層形成され、このp<sup>+</sup>型InGaAsP層86上に電極88が、またp型InP層85の側面及び露出したInGaAsP層84を覆うようにSiO<sub>2</sub>層87が形成されている。さらに、n型InP基板81の裏面には、電極89が形成されている。

【0005】 この例の場合、InGaAsP（MQW）活性層83は直接励起され、この活性層83内で利得を生成する必要により感度が制限される。用いられる半導体材料はInP基板81であり、入力及び出力波長は等しい。

【0006】 また、図9に示す面放出型の場合、図8に示すエッジ放出型とはp型InP層85がp型DBR層93に置き換わり、n型InP層82とn型InP基板81の間にn型DBR層91が形成され、電極94は選択的に形成されてp<sup>+</sup>型InGaAsP層86表面が露出し、このp<sup>+</sup>型InGaAsP層86から出射光が放出される点異なる。これら図8及び図9に示す半導体レーザ増幅器は、基本動作及びデバイスは基本的に通常のレーザ構造に適用されるものであるが、これらの活性層83では外部からの励起光により誘導放出が生じる。

【0007】 半導体波長変換素子も、上述した半導体レーザの原理を同じくして用いられる。

## 【0008】

【発明が解決しようとする課題】 以上説明した従来の半導体レーザ増幅器では、以下に示す問題が生じる。すなわち、従来は、観測者は、デバイスを動作させるのに、活性領域の直接の励起あるいは、吸収領域から遠く引き離された活性領域を有することの双方により制限され、このデバイスの動作速度を劣化させていた。また、従来のアップコンバートの大きさ、すなわち波長変換率は、単一の半導体デバイス内で発生可能なバンドギャップにより制限されていた。従って、事実上は、波長変換率は、実際の波長に対して非常に小さな割合にすぎない。

【0009】 本発明は上記課題を解決するためになされたもので、その目的とするところは、波長変換率の高い半導体波長変換素子及び波長変換方法を提供することにある。

## 【0010】

【課題を解決するための手段】 本発明に係る半導体波長変換素子は、所定のバンドギャップを有する活性層と、該活性層の上層側又は下層側に形成され、バンドギャップとは異なる深さのトラップ準位を有する光吸収層とを具備してなり、光吸収層に光を照射し、トラップ準位にトラップされたキャリアを該光により励起させて活性層に放出し、バンドギャップに相当する波長の光を該活性層から放出することを特徴とする。

【0011】 本発明の望ましい形態を以下に示す。

【0012】(1) 活性層は、多重量子井戸(MQW)構造をなす。

【0013】(2) トラップされるキャリアは電子である。

【0014】(3) トラップ準位の深さは、活性層のバンドギャップよりも狭い。

【0015】(4) 活性層を挟むようにクラッド層が形成されたダブルヘテロ構造を有する。

【0016】また、本発明に係る波長変換方法は、所定のバンドギャップを有する活性層の上層側又は下層側に、該活性層のバンドギャップとは異なる深さのトラップ準位を有する光吸収層を形成した半導体レーザを用いた波長変換方法であって、半導体レーザに電圧を印加し、キャリアを注入した状態で外部からトラップ準位にトラップされたキャリアを励起させ、該励起されたキャリアを活性層に放出し、該活性層でバンドギャップに相当する波長の光を放出することとを特徴とする。

【0017】(作用) 本実施形態では、活性層の近傍にトラップ準位を有する光吸収層を設け、この光吸収層に所定の波長の光を照射し、トラップ準位にトラップされたキャリアを放出させる。この放出されたキャリアは活性層に流れ込み、伝導帯から価電子帯に落ち込む際に光を放出する。このように、光入力信号から出力信号に変換制御するトラップを用いることにより、より早い応答時間と、入力と出力波長の大きな差が得られる。なお、このように動作させるためには、入射される光として、光吸収層のトラップ準位の深さに対応した波長、すなわち光学的な励起によりトラップを空にするような波長を有する必要がある、また出力光は、活性層のバンドギャップに相当する波長を有する。換言すれば、光吸収層におけるトラップ準位を変化させ、又は活性層のバンドギャップを変化させることにより、必要とする光波長変換システムにおける入力光信号と出力光信号の波長に容易に対応可能である。結果として、必要とされる出力特性が従来よりも高効率かつ高速の立ち上がり時間が得られる。

【0018】また、活性層として多重量子井戸(MQW)構造を用いることにより、トラップ準位から励起されたキャリアが高速かつ容易に量子井戸に落ち込むため、スイッチング動作を高速にすることができる。

【0019】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照しながら本発明の実施形態を説明する。

【0020】(第1実施形態) 図1は本発明の第1実施形態に係る標準的なストライプレーザ構造の半導体波長変換素子の全体構成を示す断面図である。この半導体波長変換素子は、GaN半導体化合物に基づいて形成されている。

【0021】図中、1はサファイヤ基板を示しており、このサファイヤ基板1の主表面にはn型GaNバッファ

層2、n型AlGaInクラッド層3、トラップ準位を有するn型GaN光ガイド層4、それぞれ所定の厚さ以下に形成された2種類のInGaIn層の繰り返しで構成される周期構造からなる多重量子井戸(MQW)構造からなるInGaIn/InGaIn MQW活性層5、p型GaN光ガイド層6、p型AlGaInクラッド層7、p型GaNコンタクト層8が順次積層して形成されている。

【0022】そして、n型GaNバッファ層2の主表面にはAl/W/Au電極9が設けられている。また、p型GaNコンタクト層8上にはPt/Au電極10が設けられており、この電極10からの電流のリークを防止すべく、両端部におけるp型GaNコンタクト層8と電極10の間にSiO<sub>2</sub>層11が形成され、ストライプ電極構造をなしている。すなわち、SiO<sub>2</sub>層11からなる絶縁ストライプ領域を形成することにより、電流がこの絶縁ストライプ領域以外の領域でのみ流れるため、p型GaNコンタクト層8と電極10が直接接しているストライプ領域周辺に電流を制御する。なお、電流及び光閉じこめの他の方法は、埋め込み型ストライプレーザで用いられるものと同じである。

【0023】この短波長光放出型の波長変換素子におけるクラッドはAlGaIn層3及び7であり、これらAlGaIn層3及び7のバンドギャップをMQW活性層5よりも大きくすることにより、MQW活性層5へのキャリアを有効に閉じこめ、この結果MQW活性層5における光放出を大きくすることができる。この点は、通常の半導体レーザの構造と同じである。

【0024】本実施形態における特徴的な点は、n型GaN光ガイド層4にある。この光ガイド層4は、MQW活性層5の下層に配置されており、入力する光に相当するバンドギャップを持つ準位になるように不純物をドーピングしている。なお、このバンドギャップは、不純物の導電型によっても決定される。この光ガイド層4において、トラップされたキャリアは、放出される際に励起光の吸収が生じ、また、この光ガイド層4で放出されたキャリアは隣接して形成されたMQW活性層5で再結合する。

【0025】不純物の添加量によりトラップ準位が定まるため、この不純物添加量を調整することにより、波長変換素子としての感度、動作点及びサイリスタとしての効果を得るときに必要なバイアスを調整することができる。

【0026】この光ガイド層4に添加される不純物としては、トラップ準位からMQW活性層5の伝導帯に励起させるのに必要な吸収波長に依存するが、例えばCd, O<sub>2</sub>, Au, Ag, Cr, Sn, Sc, Na, Li, F, Cl, Br, I又はGa等、トラップ準位を形成するいかなる元素を添加してもよい。トラップ準位の深さは、添加される不純物の導電型や、新たに添加される不純物のいずれか一方を変化させることにより調整するこ

とができる。

【0027】本実施形態に係る半導体波長変換素子の動作を図2に示すエネルギーバンド図を用いて説明する。

【0028】まず、図1に示す半導体波長変換素子に、この波長変換素子を構成する各層のバンドギャップエネルギーに相当する波長よりも低いエネルギー波長を有する光であって、光学的な励起により光ガイド層4のトラップ準位を空にするような波長が入射される。この光は、通常光源からの光でも、レーザ光源からの光であっても何でもよい。

【0029】図2は、この半導体波長変換素子の動作を説明するためのエネルギーバンド図である。図2は、MQW活性層5近傍のエネルギーバンドを示すものであり、活性層5は多重量子井戸構造をなすため、複数の量子井戸が設けられている。これら複数の量子井戸の基板1側には、光ガイド層4に対応してトラップ準位が形成される。本半導体波長変換素子に入射した光は、この光ガイド層4に形成されたトラップ準位にある電子に照射される。この光は、このトラップ準位の電子に吸収される。本半導体波長変換素子を構成する各層のバンドギャップエネルギーの波長よりも低いエネルギー波長を有するこの光を入射させるため、光ガイド層16以外の各層において光は吸収されない。

【0030】光ガイド層4で光を吸収して励起された電子は、光ガイド層4よりも小さなバンドギャップを有するMQW活性層5に流れ込む。このMQW活性層5では、光ガイド層4からの電子がホールと再結合して光を放出する。この放出される光は、入射光よりも大きなバンドギャップに相当する波長を有する。

【0031】すなわち、遷移する前後の電子のエネルギーギャップEと遷移の際に入射あるいは出射される光λとの関係は、 $E = hc / \lambda$ の関係が成立する。ここで、図2に示すように、MQW活性層5の価電子帯のエネルギーを $E_1$ 、伝導帯のエネルギーを $E_2$ 、またこの活性層5の量子井戸構造により規定される価電子帯のエネルギーを $E_1'$ 、伝導帯のエネルギーを $E_2'$ 、光ガイド層4に生じるトラップ準位を $E_t$ とする。トラップ準位にある電子が光を吸収して励起される場合、 $E_2 - E_t$ に相当する波長を入射光が有している。一方、MQW活性層5で光を放出する際、 $E_2' - E_1'$ に相当する波長の光を放出する。従って、活性層5の伝導帯に対するトラップ準位の深さが、活性層5の量子井戸構造で規定されるバンドギャップよりも浅い場合には、光ガイド層4に入射される光に比較して活性層5から放出される光の波長を短くすることができる。

【0032】この波長変換動作を示した電圧-電流特性曲線を図3に示す。横軸は本波長変換素子に印加される電圧、縦軸は波長変換素子中を流れる電流である。図3において、レーザ発振しきい値 $I_{th}$ よりも小さな電流が流れている場合には、素子内で発光はしているがレーザ

は発振しない。電流がレーザ発振しきい値 $I_{th}$ を超えると、素子内でレーザが発振する。ここで、本波長変換素子は、所定の電圧までは、電圧の増加とともに電流も単調増加する。そして、所定の電圧で飽和し、電流の増加と共に電圧は減少する。そして、レーザ発振しきい値 $I_{th}$ を超えた辺りで、電圧の増加にともない電流が単調増加する特性となる。

【0033】ここで、本波長変換素子中の電極9と電極10に印加するバイアスを $V_{op}$ とし、入射光がない状態の場合、同図のa点に示す電圧・電流となる。従って、レーザ発振しきい値 $I_{th}$ よりも小さな電流しか流れず、レーザは発振しない。この状態は、非常に高抵抗の領域である。このようなバイアス $V_{op}$ を印加した状態で、所定の波長を有する光を入射させると、同図のb点に示す電圧・電流となる。これは、前述の通り、光ガイド層4にトラップされていた電子が放出されるためであり、低抵抗の領域となる。これにより、b点においてレーザ発振しきい値 $I_{th}$ よりも大きな電流が流れ、レーザ発振領域に入ったことが分かる。

【0034】以上の原理により、ある波長を有するレーザ光を他の波長を有するレーザ光に変換することが可能となる。すなわち、電子が十分なエネルギーを持たない場合には光ガイド層4のトラップ準位に捕らえられるため、レーザ発振しきい値 $I_{th}$ を越えない領域で動作する。すなわち、レーザは発振されない。これに対して、電子が十分なエネルギーを持った場合には、電子は光ガイド層4を介さずに直接MQW活性層5に流れ込むか、又はトラップ準位から逃れてMQW活性層5に流れ込み、レーザ発振しきい値 $I_{th}$ を越えて動作、すなわちレーザを発振することができる。ここで、電極9及び10にバイアス $V_{op}$ を印加することにより、レーザの発振は入射光のオンオフで制御される。

【0035】以上のスイッチング動作は非常に高速に行うことができる。本波長変換素子に光が入射なくなると、すぐにトラップが活性状態となり、波長変換素子のスイッチは高速にオフになる。図4は本実施形態で用いられる入力及び出力する光の信号波形を示す図である。横軸は時間、縦軸は信号強度である。波長 $1.3 \mu m$ のパルス波形の入力波形の入力光に対して、出力波形では $400 nm$ に波長が変化する。また、増幅作用により、強度も増加する。この入力波形は、家庭互換性可視ファイバの光信号に用いられる波長である $1.3 \mu m$ の標準的な通信信号の波形を示しており、本実施形態に係る波長変換素子は、このような通信信号の増幅及び波長変換に用いられる。

【0036】このように本実施形態によれば、MQW活性層5の周辺領域に、MQW活性層5の量子井戸により規定されるバンドギャップよりも浅いトラップ準位を有する光ガイド層4を設けることにより、素子各層を構成するバンドギャップに制限されずに、トラップ準位の深

さとMQW活性層5のバンドギャップにより規定される変換率の高い波長変換及び光増幅が可能となる。また、高速の立ち上がり時間を有する光信号を生成可能となり、時間遅延を低減することができる。また、活性層5として多重量子井戸(MQW)構造を用いることにより、トラップ準位から励起された電子が高速かつ容易に量子井戸に落ち込むため、通常の活性層を用いた場合に比較してスイッチング動作をさらに高速にすることができる。

【0037】この技術を用いることは、通常の通信システム等で用いられる長波長放出レーザパルスを、家庭やその周辺で用いられる短波長パルスに変換することに有用である。

【0038】(第2実施形態)図5は本発明の第2実施形態に係るリッジ形状導波型レーザ構造の半導体波長変換素子の全体構成を示す断面図である。この半導体波長変換素子は、Ga<sub>0.5</sub>N<sub>0.5</sub>半導体系化合物に基づいて形成されている。

【0039】図中、21はサファイヤ基板を示しており、このサファイヤ基板21の主表面にはn型Ga<sub>0.5</sub>N<sub>0.5</sub>バッファ層22、n型Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nクラッド層23、トラップ準位を有するn型Ga<sub>0.5</sub>N<sub>0.5</sub>光ガイド層24、それぞれ所定の厚さ以下に形成された2種類のIn<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>N層の繰り返しで構成される周期構造からなる多重量子井戸(MQW)構造からなるIn<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>N/In<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>N MQW活性層25、p型Ga<sub>0.5</sub>N<sub>0.5</sub>光ガイド層26、p型Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nクラッド層27、p型Ga<sub>0.5</sub>N<sub>0.5</sub>コンタクト層28が順次積層して形成されている。

【0040】n型Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nクラッド層23、n型Ga<sub>0.5</sub>N<sub>0.5</sub>光ガイド層24、In<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>N/In<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>N MQW活性層25、p型Ga<sub>0.5</sub>N<sub>0.5</sub>光ガイド層26、p型Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nクラッド層27及びp型Ga<sub>0.5</sub>N<sub>0.5</sub>コンタクト層28は部分的にエッチングされ、露出したn型Ga<sub>0.5</sub>N<sub>0.5</sub>層22主表面にはAl/W/Au電極29が設けられている。また、p型Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nクラッド層27及びp型Ga<sub>0.5</sub>N<sub>0.5</sub>コンタクト層28はさらに狭い幅にエッチングされている。そして、このp型Ga<sub>0.5</sub>N<sub>0.5</sub>コンタクト層28の側面から、露出したp型Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nクラッド層27表面及びn型Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nクラッド層23、n型Ga<sub>0.5</sub>N<sub>0.5</sub>光ガイド層24、In<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>N/In<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>N MQW活性層25及びp型Ga<sub>0.5</sub>N<sub>0.5</sub>光ガイド層26の側面にかけて、SiO<sub>2</sub>層31が形成されている。さらに、このSiO<sub>2</sub>層31及びp型Ga<sub>0.5</sub>N<sub>0.5</sub>コンタクト層28上にはPt/Au電極30が設けられている。

【0041】このリッジ形状の半導体波長変換素子においては、p型Ga<sub>0.5</sub>N<sub>0.5</sub>コンタクト層28及びp型Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nクラッド層27の一部をエッチングにより狭い幅に形成することにより、第1実施形態に示したストライプ構造の半導体波長変換素子よりもさらに効率よく電流経路を中心部分に制御することができる。

【0042】本実施形態における特徴的な点は、n型Ga<sub>0.5</sub>N<sub>0.5</sub>光ガイド層24にある。この光ガイド層24は、MQW活性層25の下層に配置されており、不純物の導電型により決定される深さのバンドギャップにおいて、深い準位のトラップが生じるように不純物がドーピングされている。この光ガイド層24において、トラップされたキャリアは、放出される際に励起光の吸収が生じ、またこの、この光ガイド層24で放出されたキャリアは隣接して形成されたMQW活性層25で再結合する。光ガイド層24に添加しうる不純物種は第1実施形態と同じである。

【0043】本実施形態に係る半導体波長変換素子の動作も第1実施形態の図2に示したものと同一である。従って、MQW活性層25の周辺領域に、MQW活性層25の量子井戸により規定されるバンドギャップよりも浅いトラップ準位を有する光ガイド層24を設けることにより、素子各層を構成するバンドギャップに制限されずに、トラップ準位の深さとMQW活性層25のバンドギャップのみにより規定される変換率の高い波長変換及び増幅が可能となる。また、p型Ga<sub>0.5</sub>N<sub>0.5</sub>コンタクト層28及びp型Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nクラッド層27の一部を狭い幅に形成することにより、第1実施形態よりもさらに効率よく電流経路を中心近傍に集中させることができる。

【0044】(第3実施形態)図6は本発明の第3実施形態に係る表放出型レーザ構造の半導体波長変換素子の全体構成を示す断面図である。この半導体波長変換素子は、Ga<sub>0.5</sub>N<sub>0.5</sub>半導体系化合物に基づいて形成されている。

【0045】図中、41はサファイヤ基板を示しており、このサファイヤ基板41の主表面にはDBR(分散ブラッグ反射器)構造のn型Ga<sub>0.5</sub>N<sub>0.5</sub>層42、n型Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nクラッド層43、トラップ準位を有するn型Ga<sub>0.5</sub>N<sub>0.5</sub>光ガイド層44、それぞれ所定の厚さ以下に形成された2種類のIn<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>N層の繰り返しで構成される周期構造からなる多重量子井戸(MQW)構造からなるIn<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>N/In<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>N MQW活性層45、p型Ga<sub>0.5</sub>N<sub>0.5</sub>光ガイド層46、DBR構造のp型Ga<sub>0.5</sub>N<sub>0.5</sub>層47、p型Ga<sub>0.5</sub>N<sub>0.5</sub>コンタクト層48が順次積層して形成されている。

【0046】n型Ga<sub>0.5</sub>N<sub>0.5</sub>光ガイド層44、In<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>N/In<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>N MQW活性層45、p型Ga<sub>0.5</sub>N<sub>0.5</sub>光ガイド層46、p型Ga<sub>0.5</sub>N<sub>0.5</sub>層47及び48は部分的にエッチングされ、露出したn型Ga<sub>0.5</sub>N<sub>0.5</sub>層43主表面にはAl/W/Au電極49が設けられている。また、p型Ga<sub>0.5</sub>N<sub>0.5</sub>層47及び48はさらに狭い幅にエッチングされている。そして、このp型Ga<sub>0.5</sub>N<sub>0.5</sub>コンタクト層48の側面から、露出したp型Ga<sub>0.5</sub>N<sub>0.5</sub>光ガイド層46表面及びn型Ga<sub>0.5</sub>N<sub>0.5</sub>層43、n型Ga<sub>0.5</sub>N<sub>0.5</sub>光ガイド層44、In<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>N/In<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>N MQW活性層45及びp型Ga<sub>0.5</sub>N<sub>0.5</sub>光ガイド層46の側面にかけて、SiO<sub>2</sub>層51が形成されている。さらに、このSiO<sub>2</sub>層51及びp型Ga<sub>0.5</sub>N<sub>0.5</sub>コンタクト層28上にはPt/Au電極30が設けられている。この

Pt/Au電極30は、選択的にエッチングされることにより一部のみがp型GaNコンタクト層48と接しており、p型GaNコンタクト層48表面が露出して光が放出される構造となっている。このように、面放出型の構造をとることにより、基板に対して垂直方向に光信号を射出し2次元的にアレイ化できるため、高密度な集積化が可能となる。

【0047】また、DBR構造のGaN層42及び47には、回折を生じさせるスリット状の構造の格子が周期的に配列された回折格子が設けられており、周波数選択性が向上する。

【0048】本実施形態における特徴的な点は、n型GaN光ガイド層44にある。この光ガイド層44は、MQW活性層45の下層に配置されており、不純物の導電型により決定される深さのバンドギャップにおいて、深い準位のトラップが生じるように不純物がドーピングされている。この光ガイド層44において、トラップされたキャリアは、放出される際に励起光の吸収が生じ、またこの、この光ガイド層44で放出されたキャリアは隣接して形成されたMQW活性層45で再結合する。光ガイド層44に添加しうる不純物種は第1実施形態と同じである。

【0049】本実施形態に係る半導体波長変換素子の動作も第1実施形態の図2に示したものと同一である。従って、MQW活性層45の周辺領域に、MQW活性層45の量子井戸により規定されるバンドギャップよりも浅いトラップ準位を有する光ガイド層44を設けることにより、素子各層を構成するバンドギャップに制限されずに、トラップ準位の深さとMQW活性層45のバンドギャップのみにより規定される変換率の高い波長変換及び増幅が可能となる。また、p型GaNコンタクト層48及びp型AlGaNクラッド層27の一部を狭い幅に形成することにより、第1実施形態よりもさらに効率よく電流経路を中心近傍に集中させることができる。

【0050】（第4実施形態）図7は本発明に係る半導体波長変換素子の応用例を示す図である。図7において、61は上記第1～第3実施形態で説明した半導体波長変換素子であり、その入射面、すなわちサファイヤ基板の1、21又は41の裏面側を赤外線ファイバ62の出射端面に対向するように、出射面、すなわち図1及び図5に示す変換素子の場合にはMQW活性層5又は25の紙面と同じ面、図6に示す変換素子の場合にはp型GaNコンタクト層48表面をプラスチックファイバの入射端面と対向するように配置する。

【0051】赤外線ファイバ62を伝播する光は1.3～1.5μmであり、プラスチックファイバ63を伝播する光は0.4μmであるため、上記半導体波長変換素子により、赤外線ファイバ62から射出された光を波長変換及び増幅してプラスチックファイバ63に入射させることができる。

【0052】なお、以上に示した第1～第4実施形態のような原理に基づいて波長変換が可能となるため、本波長変換素子から放出される光の波長は、光ガイド層のトラップ準位の深さと、MQW活性層の量子井戸構造のバンドギャップにより規定されるため、これらの物質種や、組成、不純物濃度を変化させることにより、任意の波長に変換することができる。

【0053】また、トラップ準位を形成する層は、光ガイド層4、24及び44には限定されない。トラップをp型側のホールトラップにより生ぜしめる場合には、MQW活性層の上側に形成される光ガイド層6、26及び46にトラップ準位を形成することができる。この場合、電子によるトラップよりも移動度の低いホールによりトラップを発生させるため、スイッチング動作は遅くなる。このホールトラップを利用した場合には、波長変換素子自体の感度が向上するため、入力信号が微弱な場合であってもレーザの波長変換及び増幅が可能となる。

【0054】さらに、活性層としては多重量子井戸構造(MQW)を用いる場合を示したが、これに限定されるものではなく、単量子井戸構造、あるいは量子井戸構造を有しない通常の半導体化合物でもよい。

【0055】また、III-V族GaNに基づいて素子を構成したが、GaN以外にも、大バンドギャップの半導体系化合物であれば、入射光の波長を短波長に変換することができる。

【0056】

【発明の効果】以上詳述したように本発明によれば、活性層近傍にトラップ準位を持つ光吸収層を設けることにより、高効率の波長変換及び光増幅が可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1実施形態に係る半導体波長変換素子の全体構成を示す断面図。

【図2】同実施形態に係る半導体波長変換素子の動作を説明するためのエネルギーバンド図。

【図3】同実施形態に係る半導体波長変換素子の電圧－電流特性を示す図。

【図4】同実施形態に係る半導体波長変換素子の入力信号と出力信号の関係を示す図。

【図5】本発明の第2実施形態に係る半導体波長変換素子の全体構成を示す断面図。

【図6】本発明の第3実施形態に係る半導体波長変換素子の全体構成を示す断面図。

【図7】本発明の第4実施形態に係る半導体波長変換素子を用いた光通信構造の全体構成を示す図。

【図8】従来のエッジ放出型半導体レーザ増幅器の全体構成を示す断面図。

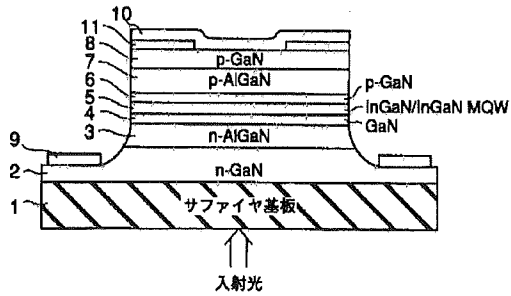
【図9】従来の面放出型半導体レーザ増幅器の全体構成を示す断面図。

【符号の説明】

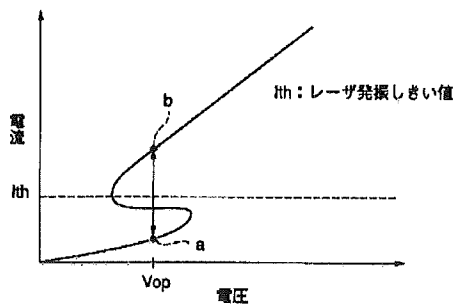
1…サファイヤ基板

- 2…n型Ga<sub>0.9</sub>Nバッファ層  
 3…n型Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nクラッド層  
 4…n型Ga<sub>0.9</sub>N光ガイド層  
 5…InGa<sub>0.5</sub>N/InGa<sub>0.5</sub>N MQW活性層  
 6…p型Ga<sub>0.9</sub>N光ガイド層  
 7…p型Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nクラッド層

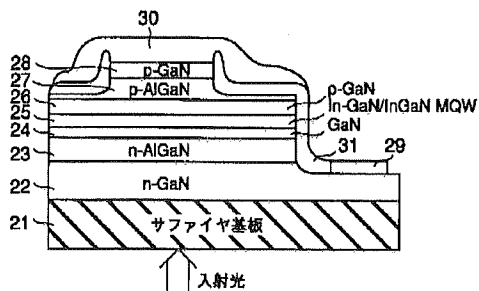
【図1】



【図3】

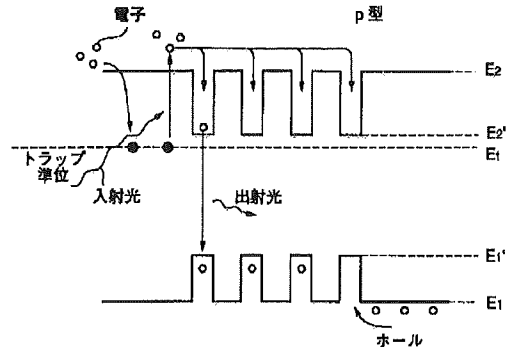


【図5】

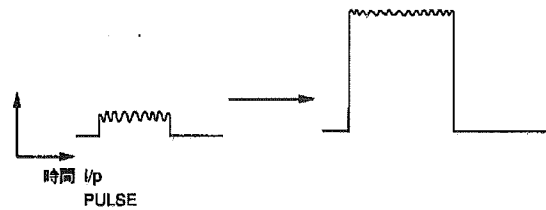


- 8…p型Ga<sub>0.9</sub>Nコンタクト層  
 9…Al/W/Au電極  
 10…Pt/Au電極10  
 11…SiO<sub>2</sub>層  
 21…n型DBR層  
 22…p型DBR層

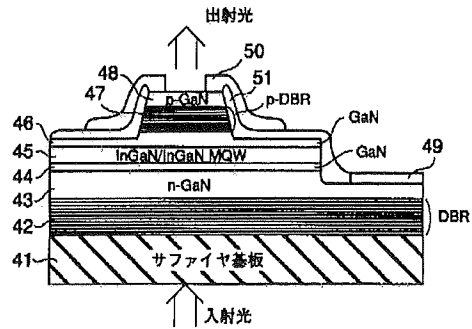
【図2】



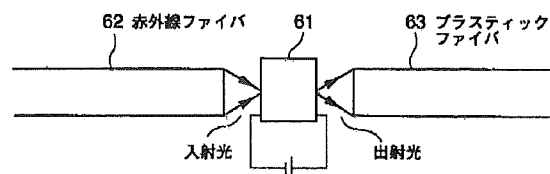
【図4】



【図6】

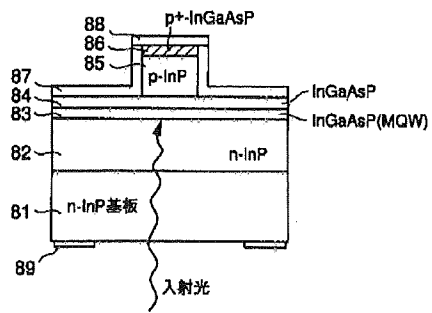


【図7】





【図8】



【図9】

